

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-035828  
 (43)Date of publication of application : 06.02.1996

(51)Int.Cl. G01B 15/00  
 G01C 3/06

(21)Application number : 06-172523  
 (22)Date of filing : 25.07.1994

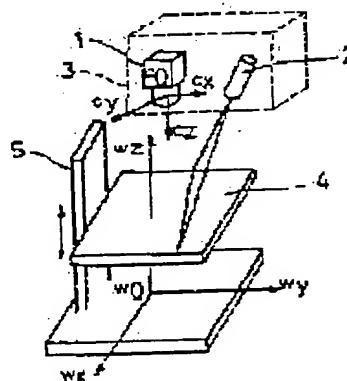
(71)Applicant : KOBE STEEL LTD  
 (72)Inventor : SANO KO  
 NISHIKAWA KOHEI  
 OKAMOTO AKIRA

## (54) CALIBRATION METHOD OF THREE-DIMENSIONAL MEASURING APPARATUS

## (57)Abstract:

PURPOSE: To enable the generation of data for calibration in a short time with a simple structure by moving a plane having a plurality of lattice points with the positions thereof known vertically to photograph.

CONSTITUTION: With a slit light source 2 turned OFF, a calibration target plane 4 set on a 1-axis stage 5 is positioned at two heights or more (at two WZ coordinates or more) to photograph a black circle (corresponding to a lattice) of a measuring pattern with a camera 1. A first parameter is calculated by an image processing. Then, with the light source 2 turned ON, the target plane 4 is positioned at two heights or more (more than two WZ coordinates) to photograph a slit light (light cutting line) on the target plane 4 with the camera 1. A photographing data is converted to a coordinate system of a taken surface using the first parameter and a second parameter is computed to define a projection surface of the slit light based on the conversion data.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-35828

(43) 公開日 平成8年(1996)2月6日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 B 15/00

A

G 0 1 C 3/06

A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平6-172523

(22) 出願日

平成6年(1994)7月25日

(71) 出願人

000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

(72) 発明者

佐野 香

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者

西川 晃平

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者

岡本 陽

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74) 代理人

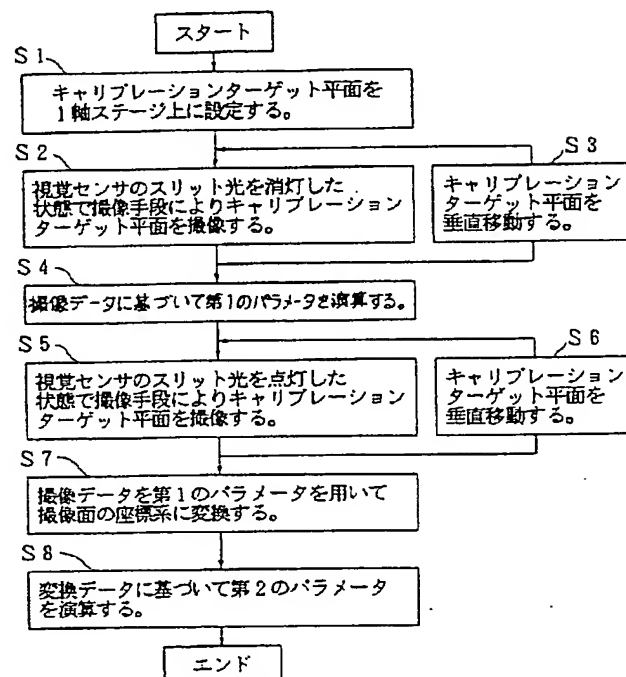
弁理士 本庄 武男

(54) 【発明の名称】 3次元計測装置のキャリブレーション方法

(57) 【要約】

【目的】 比較的簡単な装置構成で、比較的短時間にキャリブレーションデータを得ることのできる3次元計測装置のキャリブレーション方法。

【構成】 本方法は、3次元空間に配置され、かつ位置が既知である複数の格子点を有するキャリブレーションターゲット平面を垂直方向に少なくとも1回移動させ、移動前後で上記平面を2次元の画像面を有する撮像手段により撮像し (S1~S3)、撮像データに基づいて上記3次元空間の座標系と撮像面の座標系との変換係数である第1のパラメータを演算した後 (S4)、スリット光を上記平面に照射しつつ、上記移動と撮像とをもう1度繰り返す (S5, S6)、繰り返し時における撮像データを上記第1のパラメータを用いて上記撮像面の座標系に変換し (S7)、変換データに基づいてスリット光の投光面を呈示する第2のパラメータを演算する (S8) ように構成されている。上記構成により、比較的短時間で各パラメータを求める際のキャリブレーションデータを得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光切断式視覚センサ系を具備した 3 次元計測装置のキャリブレーション方法において、3 次元空間に配置され、かつ位置が既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも 1 回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる 2 次元の撮像面を有する撮像手段により撮像し、該撮像データに基づいて上記 3 次元空間の座標系と上記撮像面の座標系との変換係数である第 1 のパラメータを演算することを特徴とする 3 次元計測装置のキャリブレーション方法。

【請求項 2】 光切断式視覚センサ系を具備した 3 次元計測装置のキャリブレーション方法において、3 次元空間に配置され、かつ位置が既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも 1 回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる 2 次元の撮像面を有する撮像手段により撮像し、該撮像データに基づいて上記 3 次元空間の座標系と上記撮像面の座標系との変換係数である第 1 のパラメータを演算した後、上記センサ系に含まれる光源よりスリット光を上記平面に照射しつつ、上記移動と撮像とをもう 1 度繰り返す、該繰り返し時における撮像データを上記第 1 のパラメータを用いて上記撮像面の座標系に変換し、該変換データに基づいて上記スリット光の投光面を定義する第 2 のパラメータを演算することを特徴とする 3 次元計測装置のキャリブレーション方法。

【請求項 3】 光切断式視覚センサ系を具備した 3 次元計測装置のキャリブレーション方法において、3 次元空間に配置され、かつ位置と大きさが既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも 1 回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる 2 次元の撮像面を有する撮像手段により撮像してメモリ内に記憶し、上記センサ系に含まれる光源によりスリット光を上記平面に照射しつつ、上記撮像手段により撮像したときに該撮像画面上でスリット光がある 2 つの格子点間を内分する点 P の位置及び該内分の比率を演算し、上記メモリ内に記憶された平面上の上記点 P に対応する点 P' の位置を上記比率を用いて演算し、上記 2 つの点 P、P' の位置の座標の組からなるキャリブレーションデータを用いて上記 3 次元空間の座標系と上記メモリ内の座標系との変換係数である第 3 のパラメータを演算してなることを特徴とする 3 次元計測装置のキャリブレーション方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、3 次元計測装置のキャリブレーション方法に係り、詳しくは光切断式視覚センサ系を具備した 3 次元計測装置のキャリブレーション方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光切断式視覚センサにより、物体の 3 次元位置等を精度よく計測するためには、光切断式視覚センサのカメラパラメータ及びスリット光などの光切断平面方程式であるプロジェクタパラメータを正確に求めておくことが必要である。このため、従来は図 9 に示すように、予め定める平面上にある被検出点を XYZ テーブル上で移動して、 $X_0$ 、 $Y_0$  軸を有する撮像面を有する撮像手段で少なくとも 6 点を撮像し、XYZ テーブルの座標系と撮像手段の座標系との変換係数即ちカメラパラメータをまず求める。しかる後、被検出点を XYZ テーブル上でのスリット光の前記平面上の輝線に交差する直線方向に移動して、撮像手段によって撮像し、前記平面上の被検出点のたどる直線と、撮像面での被検出点の像がたどる曲線との関係を少なくとも 3 枚以上の前記平面毎に求めることにより、スリット光の平面の方程式を求め、キャリブレーションを行っている（特開平 2-271206 号公報参照）。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記したような従来の 3 次元計測装置のキャリブレーション方法では、カメラパラメータやプロジェクタパラメータを求める際、1 つのキャリブレーションデータを作成するために、被検出点を XYZ テーブル上で各方向に何度も移動する必要がある。このため、キャリブレーションデータ作成に時間がかかると共に、高価な 3 軸移動テーブルが必要であった。本発明は、このような従来の技術における課題を解決するために 3 次元計測装置のキャリブレーション方法を改良し、比較的簡単な装置構成でキャリブレーション用データ作成を比較的短時間に作成し得る 3 次元計測装置のキャリブレーション方法を提供することを目的とするものである。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために第 1 の発明は、光切断式視覚センサ系を具備した 3 次元計測装置のキャリブレーション方法において、3 次元空間に配置され、かつ位置が既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも 1 回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる 2 次元の撮像面を有する撮像手段により撮像し、該撮像データに基づいて上記 3 次元空間の座標系と上記撮像面の座標系との変換係数である第 1 のパラメータを演算することを特徴とする 3 次元計測装置のキャリブレーション方法として構成されている。第 2 の発明は、光切断式視覚センサ系を具備した 3 次元計測装置のキャリブレーション方法において、3 次元空間に配置され、かつ位置が既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも 1 回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる 2 次元の撮像面を有する撮像手段により撮像し、該撮像データに基づいて上記 3 次元空間の座標系と上記撮像面の座標系との変換係数である第

1のパラメータを演算した後、上記センサ系に含まれる光源よりスリット光を上記平面に照射しつつ、上記移動と撮像とをもう1度繰り返す、該繰り返し時における撮像データを上記第1のパラメータを用いて上記撮像面の座標系に変換し、該変換データに基づいて上記スリット光の投光面を定義する第2のパラメータを演算することとを特徴とする3次元計測装置のキャリブレーション方法である。第3の発明は、光切断式視覚センサ系を具備した3次元計測装置のキャリブレーション方法において、3次元空間に配置され、かつ位置と大きさが既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも1回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる2次元の撮像面を有する撮像手段により撮像してメモリ内に記憶し、上記センサ系に含まれる光源によりスリット光を上記平面に照射しつつ、上記撮像手段により撮像したときに該撮像画面上でスリット光がある2つの格子点間を内分する点Pの位置及び該内分の比率を演算し、上記メモリ内に記憶された平面上の上記点Pに対応する点P'の位置を上記比率を用いて演算し、上記2つの点P、P'の位置の座標の組からなるキャリブレーションデータを用いて上記3次元空間の座標系と上記メモリ内の座標系との変換係数である第3のパラメータを演算してなることを特徴とする3次元計測装置のキャリブレーション方法である。

#### 【0005】

【作用】光切断式視覚センサ系を具備した3次元計測装置のキャリブレーションに際し、3次元空間に配備され、かつ位置が既知である複数の格子点を有する平面が該平面に垂直方向に少なくとも1回移動させられる。該移動の前後の上記平面が上記センサ系に含まれる2次元の撮像面を有する撮像手段により撮像される。該撮像データに基づいて上記3次元空間の座標系と上記撮像面の座標系との変換係数である第1のパラメータが演算される。このように、比較的簡単な装置構成でカメラパラメータを含む第1のパラメータを容易に得ることができる。第2の発明によれば、上記第1の発明により第1のパラメータが演算された後、上記センサ系に含まれる光源よりスリット光が上記平面に照射されつつ、上記移動と撮像とがもう1度繰り返される。該繰り返し時に撮像データが上記第1のパラメータを用いて上記撮像面の座標系に変換される。該変換データに基づいて上記スリット光の投光面を定義する第2のパラメータが演算される。このように比較的簡単な装置構成でプロジェクタパラメータである第2のパラメータをも得ることができる。第3の発明によれば、光切断式視覚センサ系を具備した3次元計測装置のキャリブレーションに際し、3次元空間に配置され、かつ位置と大きさが既知である複数の格子点を有する平面が該平面に垂直方向に少なくとも1回移動させられる。該移動前後の上記平面が上記センサ系に含まれる2次元の撮像面を有する撮像手段によ

り撮像されメモリ内に記憶される。上記センサ系に含まれる光源によりスリット光が上記平面に照射されつつ、上記撮像手段により撮像された時に該撮像画面上でスリット光がある2つの格子点を内分する点Pの位置及び該内分の比率が演算される。上記メモリ内に記憶された平面上の上記点Pに対応する点P'の位置が上記比率を用いて演算される。上記2つの点P、P'の位置の座標の組からなるキャリブレーションデータを用いて、上記3次元空間の座標系と上記メモリ内の座標系との変換係数である第3のパラメータが演算される。このように比較的簡単な装置構成でカメラパラメータ及びプロジェクタパラメータを含む第3のパラメータを得ることができる。その結果、いずれの場合も比較的簡単な装置構成で、各パラメータを求める際のキャリブレーション用データを比較的短時間に作成することができる。

#### 【0006】

【実施例】以下添付図面を参照して、本発明を具体化した実施例につき説明し、本発明の理解に供する。尚、以下の実施例は、本発明を具体化した一例であって、本発明の技術的範囲を限定する性格のものではない。ここに、図1は第1、第2の発明の一実施例（第1、第2の実施例）に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法の概略構成を示すフロー図、図2は上記第1、第2の実施例に係るキャリブレーション方法を適用可能な装置の概略構成を示す模式図、図3は上記第1、第2の実施例に係るキャリブレーションターゲット平面を示す例図、図4は上記第1、第2の実施例に係るキャリブレーション方法の基本原則を示す説明図、図5は第3の発明の一実施例（第3の実施例）に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法の概略構成を示すフロー図、図6は上記第3の実施例に係るキャリブレーション方法の詳細フロー図、図7は上記第3の実施例に係るキャリブレーションターゲットを示す例図、図8は上記第3の実施例に係るキャリブレーション方法の基本原則を示す説明図である。図1に示すごとく、第1の発明の一実施例

（第1の実施例）に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法は、光切断式センサ系を具備した3次元計測装置のキャリブレーション方法である点で従来例と同様である。しかし、本第1の実施例では、3次元空間に配置され、かつ位置が既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも1回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる2次元の撮像面を有する撮像手段により撮像し（S1～S3）、該撮像データに基づいて上記3次元空間の座標系と上記撮像面との変換係数である第1のパラメータを演算する

（S4）点で従来例と異なる。また第2の発明の一実施例（第2の実施例）では、上記第1の実施例に係るキャリブレーション方法のステップS1～S4の後、上記センサ系に含まれる光源によりスリット光を上記平面に照射しつつ、上記移動と撮像とをもう1度繰り返す（S

5, S6), 該繰返し時における撮像データを上記第1のパラメータを用いて上記撮像面の座標系に変換し(S7), 該変換データに基づいて上記スリット光の投光面を定義する第2のパラメータを演算する(S8)点で従来例と異なる。

【0007】図2は上記第1, 第2の実施例に係るキャリブレーション方法に適用可能な装置の概略構成を示す。図中, センサヘッド3にはCCDカメラ等の撮像装置1(撮像手段に相当)及びスリット光源2(光源に相当)が内蔵されている。センサヘッド3の下方には, キャリブレーションターゲット平面4(平面に相当)を設置した1軸ステージ5が置かれている。ここでは, キャリブレーションターゲット平面4は1軸ステージ5の移動方向に対し, 直角方向に設置されている。キャリブレーションターゲット平面4上に設ける第1, 第2のパラメータ算出用の測定パターンであるキャリブレーションターゲットの呈示例を図3に示す。以下, まず第1の実施例に係るキャリブレーション方法の基本原理解について説明する。本方法では, 第1のパラメータ算出の際に, 従来例におけるような3軸ステージではなく, 1軸ステージを用いる。ここで, 図2に示すように, 撮像装置1にカメラ座標系 $c-o-c$   $x_c$   $y_c$   $z$ を設定すると共に, 1軸ステージ5にワーク座標系 $w-o-w$   $x_w$   $y_w$   $z$ を設定する。カメラパラメータを算出する手法に関しては,

$$\begin{Bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{Bmatrix} = \text{Trans}(1, 1, 1) \text{Rot}(Z_w, \alpha) \text{Rot}(Y_w, \beta) \text{Rot}(X_w, \gamma) \begin{Bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{Bmatrix} \quad \dots(1)$$

次に, 第2の実施例に係るキャリブレーション方法の基本原理解について説明する。本第2の実施例では, 上記第1の実施例により第1のパラメータを求めた後第2のパラメータを算出するが, この場合にも図2に示すような1軸ステージ5を用いる。まずスリット光源2を点灯させた状態で1軸ステージ5上に設置したキャリブレーションターゲット平面4を2か所以上の高さ(2箇所以上の $w_z$ 座標)に位置決めして, 撮像装置1によりキャリブレーションターゲット平面4上に投光されたスリット光(光切断線)を撮像する。このとき, キャリブレーションターゲット平面4上の2か所以上の位置決め高さ( $w_{z_i}$ ;  $i=1 \sim n$ )をも同時に図示しないメモリに記憶しておく。このキャリブレーションターゲット平面4( $A_i$ ;  $i=1 \sim n$ )の位置決め高さ( $w_{z_i}$ ;  $i=1 \sim n$ )はワーク座標系( $w-o-w$   $x_w$   $y_w$   $z$ )にて表現される(図4参照)。

【0009】図4において, 撮像面上の光切断線上の中心線は, 画像処理により求めることができるが, 光切断線像の中心線上の点 $c_p$ ,  $c_q$ ,  $c_r$ ,  $c_s$ はカメラ座標系における座標位置として検出される。これらの点 $c_p$ ,  $c_q$ ,  $c_r$ ,  $c_s$ , ...のカメラ座標系における各座標値を用いて図4におけるスリット光平面の方程式を算

出するに日本ロボット学会誌Vol. 10, No. 2, pp 177~184等々に示されているが, ここではその手法を応用する。図2の装置により第1のパラメータを算出するためにキャリブレーションデータを作成するには, まずスリット光源2を消灯した状態で, 1軸ステージ5上に設置したキャリブレーションターゲット平面4を2か所以上の高さ(2か所以上の $w_z$ 座標に)位置決めして撮像装置1により第1のパラメータ算出用測定パターンを撮像する。そして, 画像処理により, 各撮影画像内の黒い円(格子に相当)の中心を撮像すると共に, 1軸ステージ5上に設置した実際の第1のパラメータ算出用測定パターンの黒い円の中心座標をワーク座標系で求める。

【0008】このようにして, 撮影画像内の黒い円の中心データと, ワーク座標系における第1のパラメータ算出用測定パターンの黒い円の中心座標が求まると, カメラパラメータに加えて, カメラ座標系とワーク座標系とを関係づける回転, 平行移動を表す座標変換パラメータを求めることができる。上記カメラパラメータ及び座標変換パラメータが第1のパラメータに相当する。以上のようにカメラ座標系とワーク座標系とを関係づける座標変換パラメータが求まると, ワーク座標系からカメラ座標系への座標変換式は次式で表すことができる。

【数1】

出するには, カメラ座標系において視線位置ベクトル $c_o p$ ,  $c_o q$ ,  $c_o r$ ,  $c_o s$ , ...を延長した各直線がカメラ座標系により表現されたキャリブレーションターゲット平面 $A_1$ や $A_i$ と交わる点 $c_p$ ,  $c_q$ ,  $c_r$ ,  $c_s$ , ...を求めればよい。しかし, この時点ではキャリブレーションターゲット平面 $A_1$ ,  $A_i$ はワーク座標系にて表現されているため, このままではカメラ座標系で表された視線位置ベクトルと, ワーク座標系で表されたキャリブレーションターゲット平面 $A_1$ ,  $A_i$ との交点を計算できない。しかるに前述したごとく, カメラパラメータ算出の結果より, カメラ座標系とワーク座標系とを関係づける座標変換式(1)式がすでに求められているので, この(1)式を用いてワーク座標系で表されているキャリブレーションターゲット平面 $A_1$ ,  $A_i$ をカメラ座標系にカメラ変換することにより, カメラ座標系におけるスリット面上の点 $c_p$ ,  $c_q$ ,  $c_r$ ,  $c_s$ , ...を算出することが可能となる。この結果, カメラ座標系におけるスリット光平面の方程式であるプロジェクタパラメータは算出されたスリット面上の点 $c_p$ ,  $c_q$ ,  $c_r$ ,  $c_s$ , ...の座標値を用いて最小2乗法により算出できる。上記プロジェクタパラメータが第2のパラメータに相当する。

【0010】以上のように本第1の実施例では、光切断式視覚センサのカメラパラメータを含む第1のパラメータを、また第2の実施例ではさらにプロジェクタパラメータである第2のパラメータを1軸ステージを用いて容易求めることができる。従っていずれの実施例においても、キャリブレーションに要する時間が短縮できると共に、キャリブレーションステージの軸数を従来例よりも減少させることができる。上記第1、第2の実施例では、第1のパラメータと第2のパラメータとを別々に算出したが、これらのパラメータを一体として算出することによりさらに効率的にキャリブレーションデータを得ることができる。第3の発明はこの点に着目したものであり、以下述べる。図5に示すごとく、第3の発明の一実施例（第3の実施例）に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法は、光切断式視覚センサ系を具備した3次元計測装置のキャリブレーション方法である点で従来例と同様である。しかし、本第3の実施例では、3次元空間に配置され、かつ位置と大きさが既知である複数の格子点を有する平面を該平面に垂直方向に少なくとも1回移動させ、該移動前後の上記平面を上記センサ系に含まれる2次元の撮像面を有する撮像手段により撮像して（S11～S13）、メモリ内に記憶し（S14）、上記センサ系に含まれる光源によりスリット光を上記平面に照射しつつ、上記撮像手段により撮像したときに（S15、S16）、該撮像画面上でスリット光がある2つの光視点間を内分する点Pの位置及び該内分の比率を演算し（S17）、上記メモリ内に記憶された平面上の上記点Pに対応する点P'の位置を上記比率を用いて演算し（S18）、上記2つの点P、P'の位置の座標の組からなるキャリブレーションデータを用いて、上記3次元空間の座標系と上記メモリ内の座標系との変換係数である第3のパラメータを演算する（S19）点で従来例と異なる。

【0011】本第3の実施例に係るキャリブレーション方法の詳細フローを図6にしめすが、ここにおいても、上記第1、第2の実施例と同様の装置を用いることがで

$$m:n = \sqrt{(x1-u)^2 + \{\varepsilon(y1-v)\}^2} : \sqrt{(x2-u)^2 + \{\varepsilon(y2-v)\}^2}$$

ここで、 $\varepsilon$ はアスペクト比である。被検出点Pは、キャリブレーションターゲット平面4において、同様の比率でキャリブレーションターゲットT1、T2間を内分する。キャリブレーションターゲット平面4におけるキャリブレーションターゲットの位置T1（ $tx1$ 、 $ty1$ 、 $tz1$ ）、T2（ $tx2$ 、 $ty2$ 、 $tz2$ ）は既知であるので、被検出点Pのワーク座標系における座標（ $x_w$ 、 $y_w$ 、 $z_w$ ）は次式のようになる。

【数3】

この場合は、キャリブレーションターゲット平面4には、予め位置と大きさが既知であるキャリブレーションターゲットが呈示されている。キャリブレーションターゲット平面4上におけるキャリブレーションターゲットの呈示のしかたは、例えば、図7に示すように座標軸にあたる位置には、大きめのキャリブレーションターゲットを用い、それ以外は小さめのキャリブレーションターゲットを用いる。これらのキャリブレーションターゲットの重心を結ぶと格子状になるようにキャリブレーションターゲットの位置を設定し、キャリブレーションターゲット平面4上での座標系を設定する。このため、キャリブレーションターゲット平面4を2次元の撮像面を有する撮像装置1（撮像手段に相当）で撮像した際、画像信号が格納されたフレームバッファ（メモリに相当）におけるそれぞれのキャリブレーションターゲットが、キャリブレーションターゲット平面4においてどのキャリブレーションターゲットであるかが明白となる。また、フレームバッファにおいて、キャリブレーションターゲットの重心を求めると格子点となるが、この格子点にばらつきがある場合は、最小2乗法を用いてキャリブレーションターゲットの重心を求める。以下、この方法における基本原理を説明する。まず、図8（a）に示すように、スリット光をキャリブレーションターゲット平面4に照射し、2次元の撮像面を有する撮像手段1により撮像する。フレームバッファにおいて、キャリブレーションターゲット平面4は、図8（b）のように格納されている。被計測点としてスリット光がある2つのキャリブレーションターゲット間を内分する点Pを用いる。被検出点Pが2つのキャリブレーションターゲットT1、T2間を内分する比 $m:n$ は、フレームバッファ上における被検出点Pの座標P'（ $u$ 、 $v$ ）、2つのキャリブレーションターゲットの重心をT'1（ $x1$ 、 $y1$ ）、T'2（ $x2$ 、 $y2$ ）を用いると次式となる。

【0012】

【数2】

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \frac{m}{m+n} \begin{bmatrix} tx2 - tx1 \\ ty2 - ty1 \\ tz2 - tz1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} tx1 \\ ty1 \\ tz1 \end{bmatrix}$$

このようにして得られた（ $x_w$ 、 $y_w$ 、 $z_w$ 、 $u$ 、 $v$ ）をキャリブレーションデータとして用いる。ここで、図8（c）に示すように、センサ座標系（ $x_c$ 、 $y_c$ 、 $z_c$ ）から撮像面座標系（ $x_p$ 、 $y_p$ 、1）への透視変換、フレームバッファ座標系（ $u$ 、 $v$ ）から撮像面座標系（ $x_p$ 、 $y_p$ ）への変換、センサ座標系（ $x_c$ 、 $y_c$ 、 $z_c$ ）からワーク座標系（ $x_w$ 、 $y_w$ 、 $z_w$ ）への変換は、ワーク座標系とセンサの座標系との交換係数

$(l_x, l_y, l_z, \alpha, \beta, \gamma)$ , センサ座標系から撮像面座標系への透視変換の係数  $h$ , フレームバッファ座標系から撮像面座標系へのアフィン変換の係数

$(S_x, S_y, u_0, v_0)$  を用いて次式で表すことができる。

【数 3】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & u_0 \\ 0 & S_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \text{Trans}(l_x, l_y, l_z) \text{Rot}(Z, \alpha) \text{Rot}(Y, \beta) \text{Rot}(X, \gamma) \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

また、スリット光の平面の方程式は次式表すことができ

$$ax_c + by_c + z_c = d$$

ここで、 $(h, S_x, S_y, u_0, v_0, l_x, l_y, l_z, \alpha, \beta, \gamma)$  はカメラパラメータであり、 $(a, b, d)$  はスリット光のプロジェクタパラメータである。上記 (2), (5) 式より  $h$  は次式となる。

【数 6】

$$h = \frac{d}{ax_p + by_p + f}$$

上記 (2), (3), (4), (6) 式より、フレームバッファ座標系から、ワーク座標系への変換は次式で表すことができる。

【数 7】

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x(u, v; p_1, p_2, \dots, p_{13}) \\ F_y(u, v; p_1, p_2, \dots, p_{13}) \\ F_z(u, v; p_1, p_2, \dots, p_{13}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} hx_p \\ hy_p \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

ここで、 $f$  はカメラの焦点距離であり定数である。

【数 5】

る。

... (5)

【0014】ここで、 $p_{11} \sim p_{13}$  はセンサパラメータ  $(l_x, l_y, l_z, \alpha, \beta, \gamma, S_x, S_y, a, b, d, u_0, v_0)$  である。これらの値は公称値として与えられるが、公差や設置条件により多少の誤差が発生する。精度よく計測するためには、これらの誤差を求める必要がある。そこで、センサパラメータを  $(x_w, y_w, z_w, u, v)$  を用いて求める。1 点のデータで 3 つの方程式ができるので、13 個の未知数を解くには、少なくとも 5 点のデータを必要とする。従って、3 次元のキャリブレーションを行うためには、少なくともキャリブレーションターゲット平面 4 の移動を 2 度行う必要がある。ここで、ヤコビ行列を用いたキャリブレーション計算のために、以下の量を提示する。

【数 8】

$$\begin{aligned}
 F(u, v; p_1, \dots, p_{13}) &= \begin{bmatrix} F_x(u, v; p_1, \dots, p_{13}) \\ F_y(u, v; p_1, \dots, p_{13}) \\ F_z(u, v; p_1, \dots, p_{13}) \end{bmatrix} \\
 J_p &= \begin{bmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial F_x}{\partial p_{13}} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial F_z}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial F_z}{\partial p_{13}} \end{bmatrix} \\
 X_{pi} &= \begin{bmatrix} x_{wi} \\ y_{wi} \\ z_{wi} \end{bmatrix} \\
 p_{pi} &= [p_{p1i}, p_{p2i}, \dots, p_{p12i}, p_{p13i}]^T \\
 X_D &= \begin{bmatrix} X_{p1} \\ \vdots \\ X_{pN} \end{bmatrix} \quad (5 \leq N) \\
 X_M &= \begin{bmatrix} F(u_1, v_1; p_{p1}) \\ \vdots \\ F(u_N, v_N; p_{pN}) \end{bmatrix} \quad (5 \leq N) \\
 J_M &= \begin{bmatrix} J_p(u_1, v_1; p_{p1}) \\ \vdots \\ J_p(u_N, v_N; p_{pN}) \end{bmatrix} \quad (5 \leq N)
 \end{aligned}$$

キャリブレーションアルゴリズムは以下のように示す反復解法を用いる。

(ステップ1) 収束判定条件  $\varepsilon$  と初期値  $p_{p0}$  を与え、 $p \leftarrow p_{p0}$  とする。

(ステップ2)  $\Delta X = X_M - X_D$

if  $|\Delta X| \leq \varepsilon$  then end

(ステップ3)  $\Delta X = J_M \Delta p_p$  より  $\Delta p_p = J_M^{-1} \Delta X$  (ここで、 $J_M^{-1}$  は擬似逆行列)

(ステップ4)  $p_p = p_p + \Delta p_p$  goto (ステップ2)

【0015】このようにして、上記撮像面上での座標と上記平面上での座標とを用いて、カメラ系とスリット光系とを含むセンサパラメータを求めることができる。このセンサパラメータが第3のパラメータに相当する。また、これらは最小2乗法を用いて求めることもできる。このように比較的簡単な構成で第3のパラメータを容易

に求めることができる。その結果、いずれも比較的簡単な構成で、各パラメータを求める際のキャリブレーションデータを比較的短時間に作成することができる。尚、上記第1の実施例に係るキャリブレーション方法ではカメラパラメータを含む第1のパラメータのみを求めているが、この場合は、プロジェクタパラメータである第2のパラメータについては、従来例と同様の方法により求めてもよい。但し、第2の実施例に示すごとく、第2のパラメータを求めた場合には、より短時間にキャリブレーションデータを作成することができる。

【0016】

【発明の効果】本第1の発明に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法は、上記したように構成されているため、比較的簡単な装置構成でカメラパラメータを含む第1のパラメータを容易に得ることができる。第2の発明では、比較的簡単な装置構成で上記第1のパラメータ



タに加えてプロジェクタパラメータである第2のパラメータをも得ることができる。第3の発明では、比較的簡単な装置構成でカメラパラメータ及びプロジェクタパラメータを含む第3のパラメータを得ることができる。その結果、いずれも比較的簡単な装置構成で、各パラメータを求める際のキャリブレーション用データを比較的短時間に作成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1、第2の発明の一実施例（第1、第2の実施例）に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法の概略構成を示すフロー図。

【図2】 上記第1、第2の実施例に係るキャリブレーション方法を適用可能な装置の概略構成を示す模式図。

【図3】 上記第1、第2の実施例に係るキャリブレーションターゲットを示す例図。

【図4】 上記第1、第2の実施例に係るキャリブレーション方法の基本原則を示す説明図。

【図5】 第3の発明の一実施例（第3の実施例）に係る3次元計測装置のキャリブレーション方法の概略構成を示すフロー図。

【図6】 上記第3の実施例に係るキャリブレーション方法の詳細フロー図。

【図7】 上記第3の実施例に係るキャリブレーションターゲット平面を示す例図。

【図8】 上記第3の実施例に係るキャリブレーション方法の基本原則を示す説明図。

【図9】 従来の3次元計測装置のキャリブレーション方法を適用可能な装置の一例における概略構成を示す模式図。

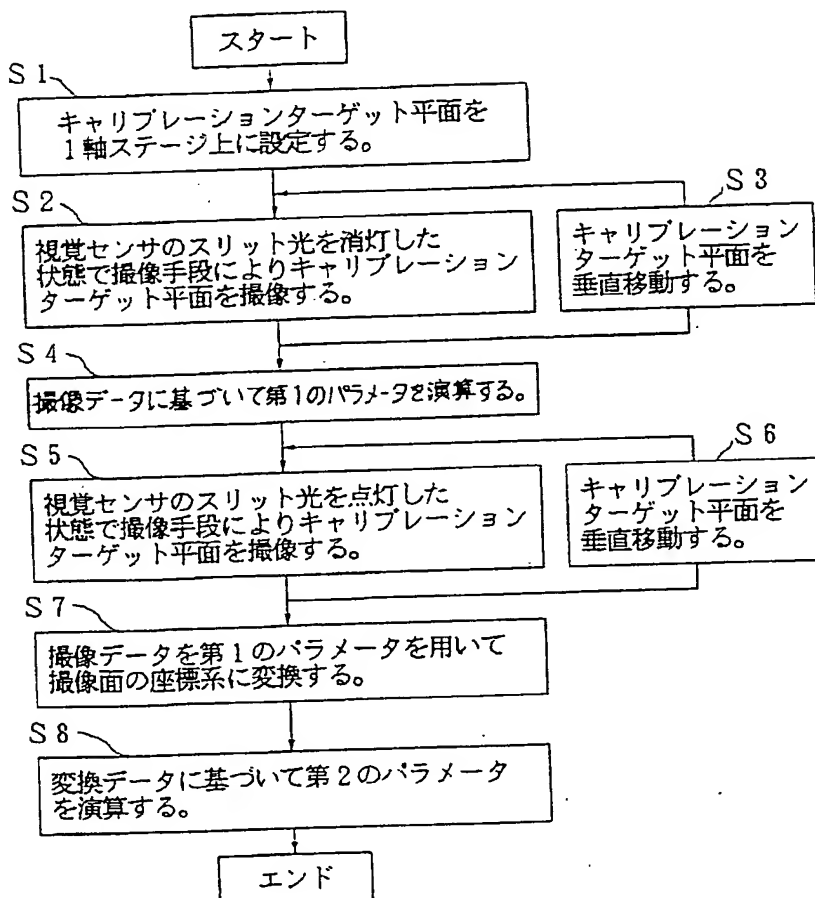
【符号の説明】

1…撮像装置（撮像手段に相当）

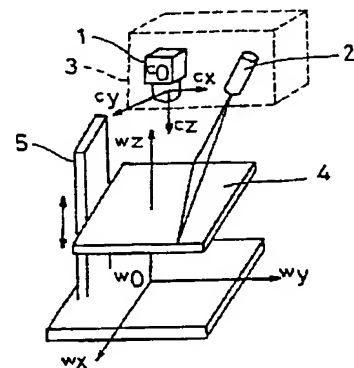
2…スリット光源（光源に相当）

4…キャリブレーションターゲット平面（平面に相当）

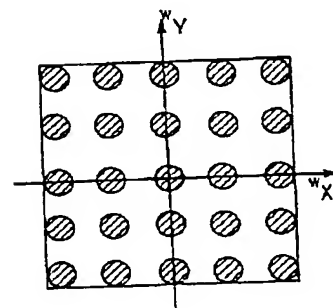
【図1】



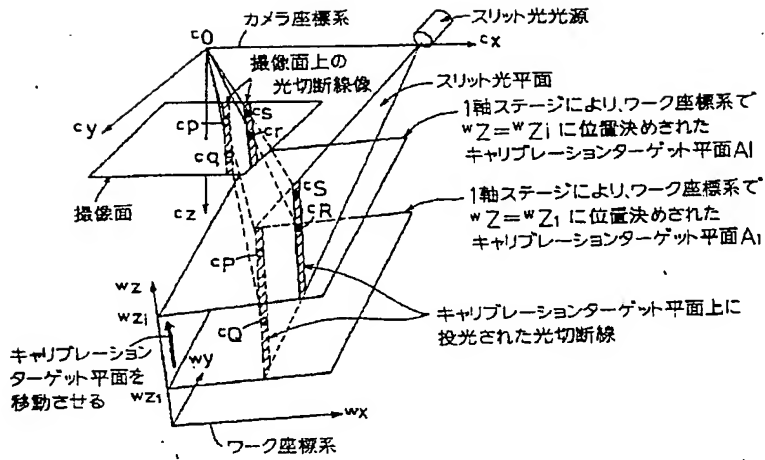
【図2】



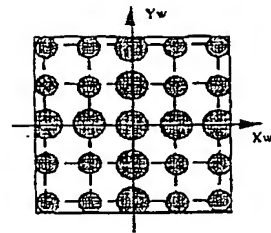
【図3】



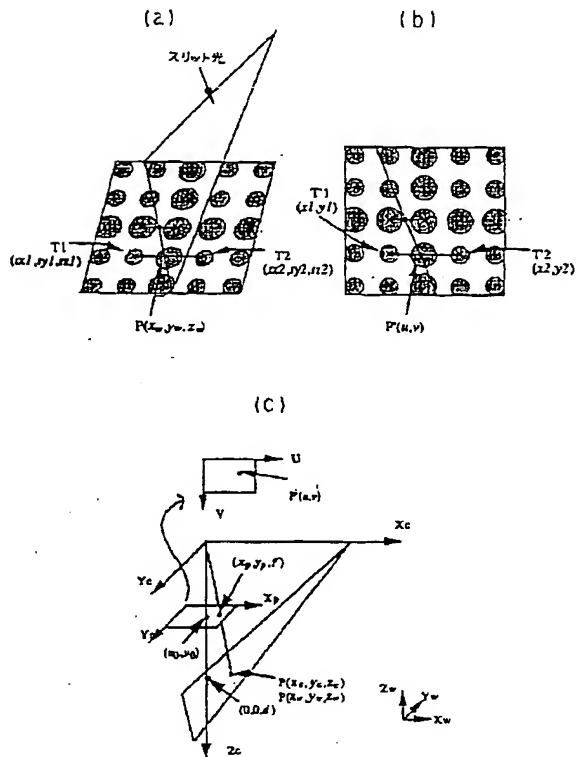
【図4】



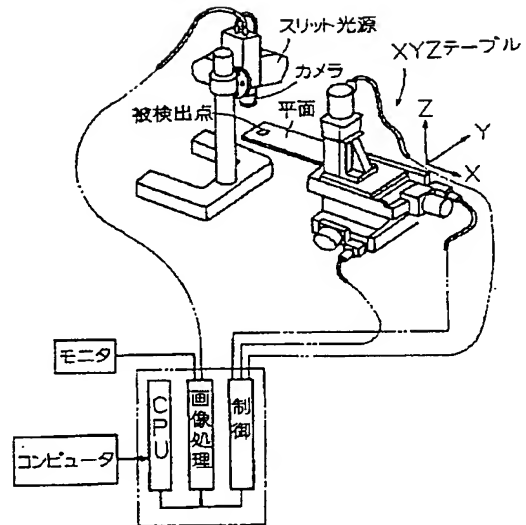
【図7】



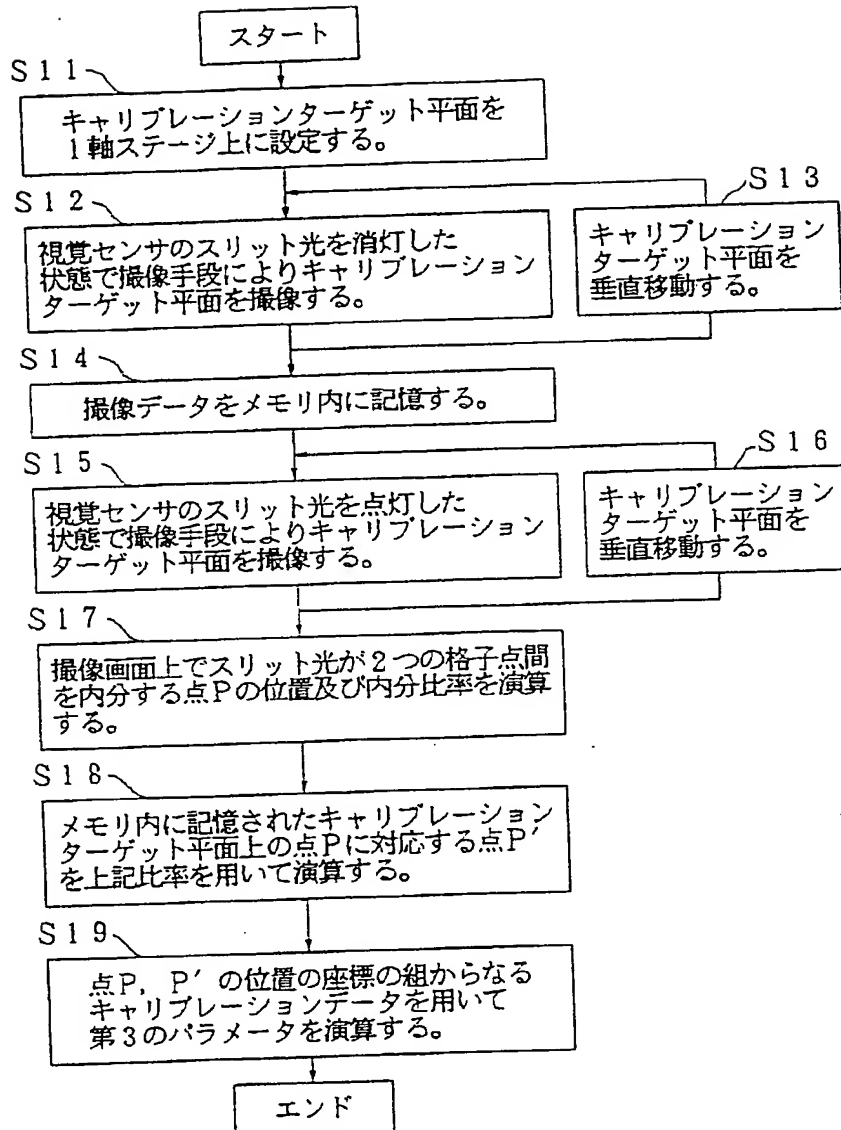
【図8】



【図9】



【図 5】



【図6】

